



# CONDUCTIVÍMETRO

**El conductivímetro es un instrumento de laboratorio que, midiendo la conductividad eléctrica del agua, permite determinar la cantidad de sales que contiene, y por lo tanto su grado de mineralización.**

**S**eguramente a muchos nos han sorprendido las campañas comerciales para la venta de sistemas de **depuración de agua del grifo de los domicilios** ... ¿es que el agua del grifo no está en condiciones perfectas?

Los comerciales de estos productos suelen basar su estrategia en "informarnos" de las **características negativas** del agua del grifo:

- El agua del grifo es **dura**.
- El agua contiene **bacterias coliformes**.
- El agua del grifo contiene **sales**.

¿Se equivocan? ¿Tienen razón? ... ¿Ambas cosas? Vamos a intentar poner un poco de luz en estas cuestiones.

## COMO se MIDE la DUREZA

La dureza del agua generalmente se expresa en **grados franceses (°f)**, no confundir con **°F** (unidad de medida de **temperatura en grados Fahrenheit**).

Un grado francés equivale a **10 mg de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) por litro de agua**, esto es:

$$1 \text{ °f} = 10 \text{ mg/l} = 10 \text{ ppm (partes por millón)}$$

La **dureza** es un valor que expresa la concentración en el agua de **sales de calcio y magnesio**, también referida a los miligramos de **carbonato de calcio por litro de agua**.

Actualmente se utiliza como unidad de medida el **MEC**, que corresponde a **1 g** de **CaCO<sub>3</sub>** en **100 litros**. Dadas las equivalencias un **MEC** es igual a un **grado francés**.

Generalmente las aguas se **clasifican** en base en su **dureza** en las siguientes categorías:

Hasta 7 °f	muy dulce
de 7 °f a 14 °f	dulce
de 14 °f a 22 °f	medianamente dura
de 22 °f a 32 °f	discretamente dura
de 32 °f a 54 °f	dura
más de 54 °f	muy dura

También se utilizan otras unidades de medida para clasificar el agua en base a su dureza: **Grados alemanes (°T)**, **grados ingleses** o de **Clark (°I)**, **grados USA**, etc. Las **relaciones** y los **valores** son los siguientes:

- 1 °T = 10 mg de CaO por litro (1,79 °f).
- 1 °I = 1 g de CaCO<sub>3</sub> por 70 litros (1,43 °f).
- 1 ° USA = 1 mg de CaCO<sub>3</sub> por litro (1,71 °f).

## BACTERIAS en el AGUA

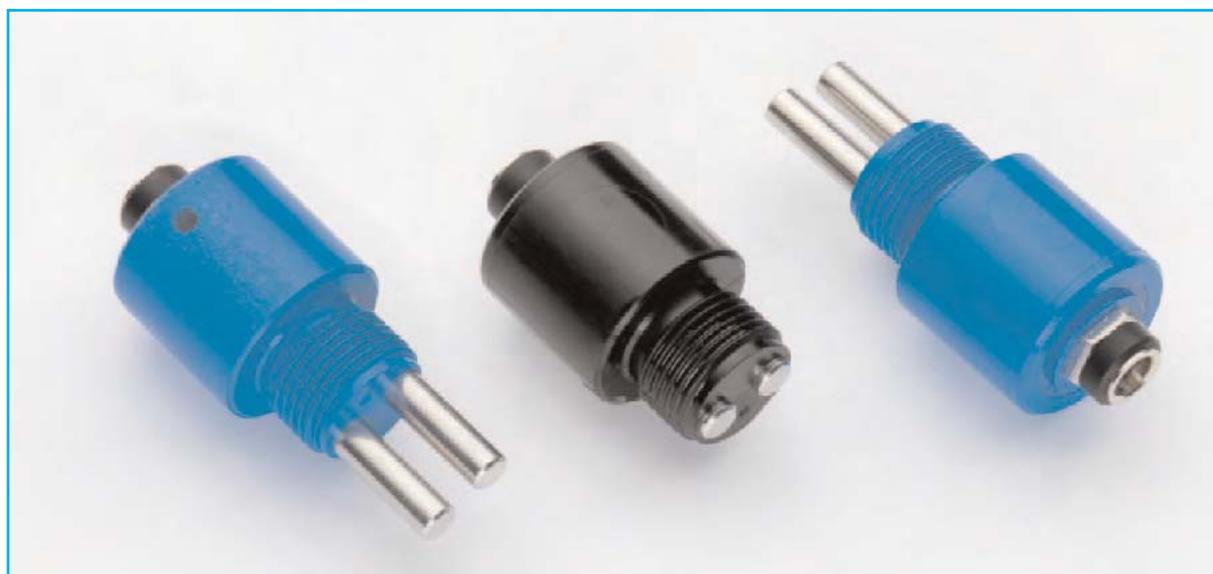
La denominación genérica de **bacterias coliformes** se refiere a un grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas comunes de mucha importancia como **indicadores** de **contaminación del agua** y de los **alimentos**.

**Coliforme** significa literalmente con **forma de coli**, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la **Escherichia coli**, bautizada posteriormente como **bacteria del intestino** (del griego **bacterium coli**).

Las **bacterias coliformes** suelen vivir en el **intestino**. Normalmente nos ayudan en la **digestión** y en la asimilación de **vitaminas**.

Por ejemplo, como **no** logramos extraer la **vitamina K** que se encuentra en las hortalizas la bacteria se “come” la hortaliza y “descarta” un producto que **sí** es asimilado por el intestino: La **vitamina K**, fundamental en el proceso de **coagulación** de la **sangre** por su acción **antihemorrágica**.

# PROFESIONAL



**Fig.1** Celdas K1 y K5 para el Conductivímetro LX.1697. La celda K5, de color azul, se utiliza para aguas oligominerales o poco mineralizadas, mientras que la celda K1, de color negro y con los electrodos más cortos, debe utilizarse para aguas muy saladas, esto es para medidas superiores a 1.000 uS/cm.

Estas bacterias viven en nuestro **intestino**, ahora bien si se encuentran en el **agua** pueden **contaminarla**.

El **agua para uso doméstico** tiene que ser **microbiológicamente pura**, es decir no tiene que contener microorganismos dañinos para la salud. Para eliminar las bacterias hay que someter al agua a la acción germicida de una **lámpara UV**, **inyectar ozono**, **diluirlo con cloro** o **hervirla**.

## LAS SALES MINERALES

Para **saciar la sed** el **agua** tiene que contener **sales minerales**. De hecho si bebemos agua pura destilada no nos calma la sed.

Las **sales minerales** son **muy importantes** para nuestro organismo, sobre todo en **verano** o cuando hacemos **ejercicio físico**, ya que en estas situaciones tenemos más necesidad de **reintegrar** los líquidos y los minerales perdidos con la **sudación**.

Las **aguas oligominerales** o **poco mineralizadas** son apropiadas únicamente en casos de **hipertensión** o en la preparación de **alimentos para bebés**.

Resumiendo, el agua que bebemos tiene que contener cierta cantidad de **sales minerales** tanto para **saciarlos la sed** como para reponer las **sales perdidas**.

## PARA qué SIRVE un CONDUCTIVÍMETRO

El instrumento que presentamos en este artículo permite **controlar**, de forma indirecta, la presencia de **sales minerales** en el agua.

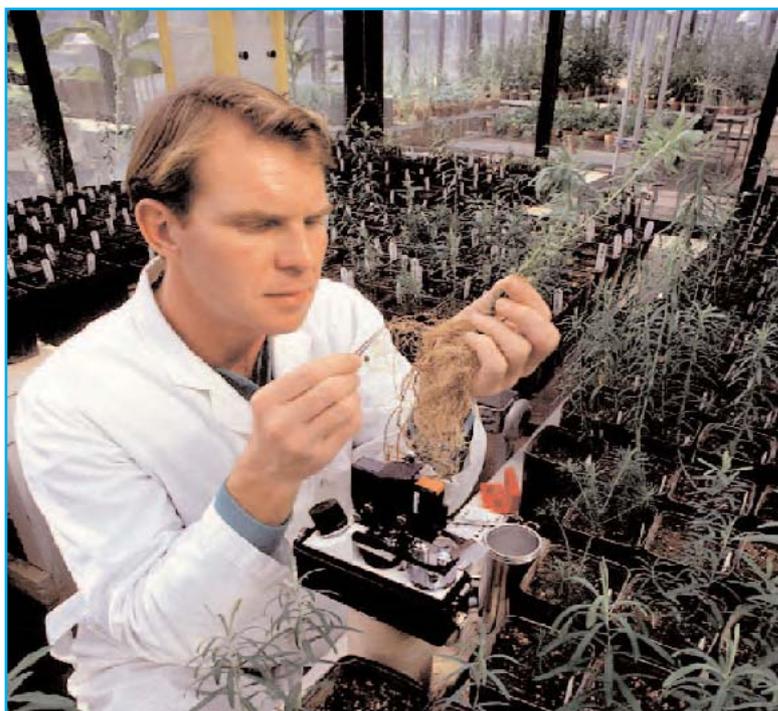
Además, el valor de la **conductividad**, indicado sobre todas las etiquetas de las aguas minerales, puede ser considerado una **comprobación de residuos**.

Su campo de actuación no solo se limita a estas cuestiones, también permite tener bajo control los valores de **conductividad** de los **acuarios de agua dulce y salada**.

Quienes **crían peces de agua dulce** saben bien la importancia de tener el agua con una **conductividad** de unos **350-400 microsiemens/cm**.

Aquellos que tienen en su **casa** un **pequeño acuario de agua dulce** suelen disponer de sistemas de **filtración** que utilizan **osmosis inversa** para **eliminar** la presencia de **sales minerales**, **bajando** en consecuencia la **dureza** del agua del grifo para hacerla **apta** para la vida de las queridas mascotas.

También quienes poseen **acuarios de agua salada** tienen bajo control la **mineralización** del agua, cuya **conductividad**, en este caso, tiene que tener **valores** entre **17.000** y **20.000 microsiemens/cm**.



**Fig.2** El conductivímetro es un instrumento de precisión que tiene muchos campos de aplicación, como por ejemplo laboratorios de botánica y laboratorios de química.



En este caso al agua preventivamente **depurada** por las **bacterias** se le **añaden** mezclas de **sales** hasta alcanzar los valores de **conductividad** adecuados para recrear el hábitat natural de los peces de **agua salada**.

El desarrollo de este proyecto ha sido posible gracias a la colaboración de “**auténticos expertos del agua**”, logrando así un **instrumento sumamente profesional** a un **precio muy popular**.

Con un **conductímetro** de **altas prestaciones** como este se pueden proponer muchos **experimentos de química** a los estudiantes de los últimos cursos de educación básica y primeros años de educación secundaria, como por ejemplo analizar el agua de la lluvia, el agua desmineralizada o destilada, el agua del grifo, el agua mineral embotellada, etc.

Todas las aguas, incluyendo las de la lluvia, están **mineralizadas parcialmente**, ya que contienen **sales disueltas**. Además hay que tener presente que la composición del terreno en la que está el agua no es siempre la misma.

Este instrumento permite realizar diversos **experimentos** con **el agua de la lluvia** y con

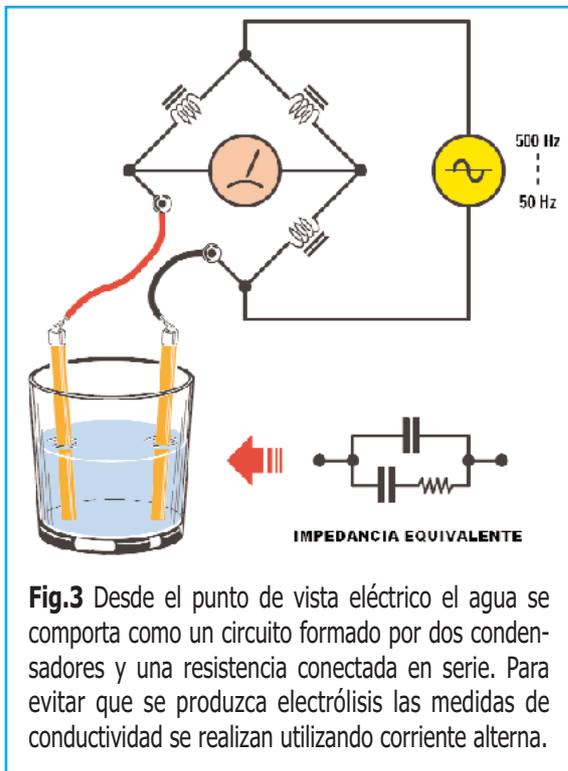
el **agua recogida** en los **terrenos** para controlar su **grado de salinidad**. Las aguas, al circular entre las rocas y el terreno, se enriquecen con **sales minerales**. Además el agua de la lluvia arrastra consigo el **polvo mineral** transportado por el **viento**.

Se trata, sin duda, de un instrumento muy útil para los **campesinos** y para los **labradores**, porque permite controlar la calidad de las soluciones para el **riego** de los campos con **fertilizantes**. En efecto, si la conductividad es demasiado elevada se puede reducir la cantidad de fertilizante o diluirlo con más agua.

Estos son solo son **algunos** de los **campos de aplicación** del **conductímetro**. Estamos seguros que vuestra experiencia sugerirá muchos otros.

### **GRADO de MINERALIZACIÓN del AGUA**

El agua pura es **inodora** e **insípida**. Si tiene algún **sabor** u **olor** es porque contiene **alguna sustancia**. Por ejemplo, las aguas sulfurosas se reconocen por su particular olor a “huevo podrido” mientras que las aguas ferrosas contienen elementos que dan al agua un característico sabor a hierro.



**Fig.3** Desde el punto de vista eléctrico el agua se comporta como un circuito formado por dos condensadores y una resistencia conectada en serie. Para evitar que se produzca electrólisis las medidas de conductividad se realizan utilizando corriente alterna.

Para determinar la **cantidad de sales** presentes en el agua se puede forzar su **evaporación** calentándola desde **105 a 180 °C**. De esta forma las sales quedan **sedimentadas** pudiéndose analizar con relativa facilidad.

Un procedimiento mucho más **sencillo** es la utilización de un instrumento denominado **conductímetro** que, además, permite realizar la operación de forma más **rápida** y, sobre todo, **precisa**.

Este instrumento, que mide la **conductividad del agua**, se basa en el hecho que el **agua de elevada pureza** es un **mal conductor** de la electricidad, es decir opone una resistencia eléctrica muy alta al paso de la corriente (**mal conductor no** es lo mismo que **aislante**).

Son las **sales** diluidas las que provocan que el **agua** presente una **menor resistencia eléctrica** (conduce mejor la electricidad). Así la **resistencia eléctrica** es **inversamente proporcional** a la cantidad de **sales**, o lo que es lo mismo, la **conductividad eléctrica** es **directamente proporcional** a la cantidad de **sales** presentes en el agua (la conductividad eléctrica es la inversa de la resistencia eléctrica ya que se define como la capacidad de que una corriente eléctrica atraviese una sustancia).

Resumiendo, al medir la **conductividad** medimos la **cantidad de sales** presentes en el agua. La unidad de medida de la conductividad es el **siemen/cm**, aunque, por comodidad a la hora de manejar las cifras, se utiliza el **microsiemen/cm (µS/cm)**.

Todas las **aguas naturales** están **parcialmente mineralizadas**. Además el valor numérico de la **salinidad**, medido en **mg/l**, es algo inferior a **2/3** de la **conductividad**.

La **resistencia** (y por tanto la **conductividad**) varía en función de la **temperatura**, que también influye en el grado de disociación de las sales. El **conductímetro** que aquí presentamos es capaz de **compensar** el valor de **temperatura del agua** para realizar una **medida muy precisa**.

### EL AGUA analizada ELECTRICAMENTE

La medida de la **conductividad eléctrica** del **agua** se realiza, como ya hemos explicado, con un **conductímetro**. **No** se puede medir con un **téster**.

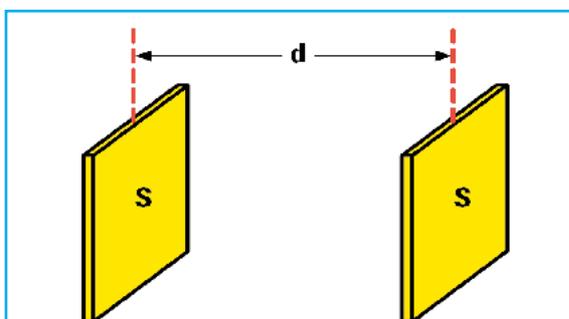
El **agua** se presenta como si se tratase de un **circuito eléctrico** formado por **dos condensadores** y una **resistencia** conectada en serie (ver Fig.3). Si aplicamos una **tensión continua (V)** se produce una **corriente (I)** directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica del elemento (**Ley de Ohm**):

$$I = V/R$$

Ahora bien, a causa de la **polarización electrolítica** la corriente decrece exponencialmente, **falseando** la **medida**.

En la práctica se forman pequeñas **burbujas de gas** producidas por la **electrólisis**, que tiende a formar una **capa aislante** entre los **electrodos** y el **agua**, **aumentando** así la **resistividad**.

Este fenómeno provoca una variación de potencial de un electrodo con respecto de las **sustancias** contenidas en el agua, que son **disociadas en iones** que, con el tiempo, provocan la **oxidación** del **electrodo positivo**. La consecuencia final es que el **electrodo** queda **aislado** y la corriente no puede circular, **impidiendo** así la realización de la **medida**.



**Fig.4** Una celda conductivimétrica está formada por dos láminas metálicas paralelas a distancia  $d$  y con superficie  $S$ . La relación entre  $d$  y  $S$  se denomina constante de celda ( $K$ ), siendo un parámetro característico de la celda.

Para **remediar** este **inconveniente** las medidas de conductividad se realizan de forma **rápida** utilizando **corriente alterna**, esto es invirtiendo continuamente la polaridad de los electrodos para **impedir** la **electrólisis**.

Además, en función de la escala de medida utilizada, se provoca que las **corrientes** sean **pequeñas** para **evitar** la formación de **burbujas de aire**.

Ahora bien, la **corriente alterna** tiene el **inconveniente** de inducir **capacidades parásitas**, por lo que aumenta la impedancia **falseando** la **medida**. En efecto:

$$I = V/Z$$

Donde:

$$Z = 1 : (2\pi \times \text{frec} \times \text{capacidad parásita cable})$$

Esta es indudablemente una de las medidas más críticas a realizar. Gracias a una función integrada en el **conductímetro** se puede **compensar** el instrumento para que la **lectura** sea **real** y **precisa**.

En términos prácticos se hace pasar una señal de **frecuencia fija** entre los electrodos y se mide la **reactancia**. Según el grado de conductividad que se espera medir se **modifica** la frecuencia de trabajo para tener en cuenta la **capacidad parásita** inducida por los **electrodos** que se introducen en el **agua**.

Esta forma de operar también justifica la realización de **diferentes módulos** en función de los **rangos de medida** del instrumento.

## PROFUNDIZANDO en la MEDIDA de la CONDUCTIVIDAD

De forma teórica para **medir** la **conductividad del agua** se utilizan **dos láminas** de metal **paralelas** entre sí (ver Fig.4). Deben **sumergirse completamente** en la solución. El término técnico con el que se las denomina es **celdas conductivimétricas**.

Desde el punto de vista físico estas láminas, que tienen una **superficie (S)** y que se encuentran a una **distancia determinada (d)**, se sumergen en un **líquido** que tiene una **resistividad específica (ρ)** y ofrecen una **resistencia (R)** al paso de la corriente. La fórmula que los relaciona es la siguiente:

$$R = \rho (d/S)$$

Puesto que la **conductividad específica** o **conductividad eléctrica (C)** es la **inversa** de la **resistividad eléctrica ρ**, se obtiene:

$$C = (1 / \rho) = (1/R)(1/S)$$

**Dimensionalmente** podemos formularla así:

$$C = (1/\text{ohm})(\text{cm}/\text{cm}^2) = (1/\text{ohm})(1/\text{cm})$$

Así la **conductividad** de un elemento depende de:

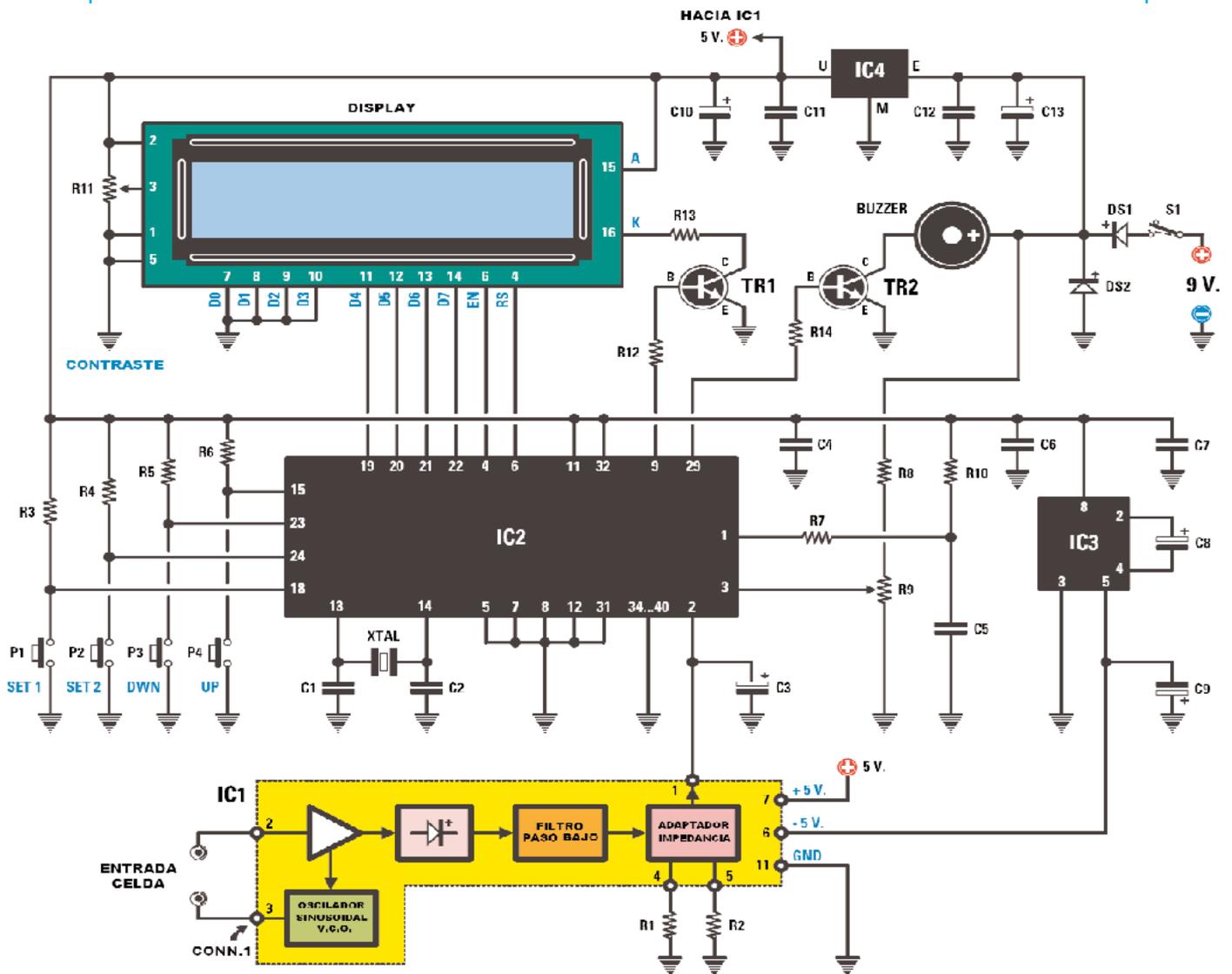
- La **inversa** de la **resistencia** que opone al paso de la corriente, definida por la relación **(1/ohm)**. La **unidad de medida** de esta relación es el **siemen**.

- Su **construcción geométrica**. En efecto, la relación **d/s** caracteriza la celda conductivimétrica utilizada para la medida, ya que depende de la **distancia** entre los conductores y de su **superficie**. Para definir esta relación se utiliza la constante **K** (constante de celda), cuya unidad de medida se expresa **centímetros<sup>-1</sup>**.

Así, como ya hemos indicado, la **unidad de medida** de la conductividad es el **microsiemen/cm (μS/cm)**.

## ESQUEMA ELÉCTRICO

El esquema eléctrico es aparentemente sencillo ya que la mayor parte del trabajo es desarrollada por el **programa** incluido en un **micro** de la serie **PIC** de **Microchip**.



**Fig.5** Esquema eléctrico del Conductímetro LX.1697. La señal procedente de la celda se aplica al módulo conductividad IC1. A cada escala de medida le corresponde un módulo.

#### LISTA DE COMPONENTES LX.1697

R1 = 10.000 ohmios	C1 = 33 pF cerámico	DS1-DS2 = Diodos 1N.4007
R2 = 10.000 ohmios	C2 = 33 pF cerámico	DISPLAY = LCD SSC2P16DLNW-E
R3 = 10.000 ohmios	C3 = 47 microF. electrolítico	TR1-TR2 = Transistor NPN BC.337
R4 = 10.000 ohmios	C4 = 100.000 pF poliéster	IC1 = Módulo SMD (ver Tabla N°1)
R5 = 10.000 ohmios	C5 = 100.000 pF poliéster	IC2 = PIC 18F442 programado
R6 = 10.000 ohmios	C6 = 100.000 pF poliéster	IC3 = Integrado TC.7660
R7 = 470 ohmios	C7 = 100.000 pF poliéster	IC4 = Integrado 7805
R8 = 18.000 ohmios	C8 = 10 microF. electrolítico	BUZZER = Cápsula piezoeléctrica
R9 = Trimmer 10.000 ohmios	C9 = 10 microF. electrolítico	P1-P4 = Pulsadores
R10 = 4.700 ohmios	C10 = 220 microF. electrolítico	S1 = Interruptor
R11 = Trimmer 10.000 ohmios	C11 = 100.000 pF poliéster	CONN.1 = Conector 11 terminales
R12 = 4.700 ohmios	C12 = 100.000 pF poliéster	
R13 = 220 ohmios	C13 = 470 microF. electrolítico	
R14 = 4.700 ohmios	XTAL = Cuarzo 4 MHz	

**NOTA** Todas las resistencias son de 1/4 vatio.

Como se puede observar en el esquema buena parte del secreto radica en el **módulo** que **procesa** todas las variables en función de la **escala de medida** utilizada, de la **geometría** de las **celdas**, del **material utilizado**, de la **longitud del cable**, de la **temperatura del agua**, etc.

La **señal** procedente de la **celda** sumergida en el agua entra en el **módulo de conductividad**, que incorpora un **VCO** (oscilador controlado por tensión), un **rectificador de precisión** y una serie de **filtros de paso-bajo**.

La señal resultante se aplica, una vez **adaptadas las impedancias**, al **Convertor Analógico/Digital** conectado al terminal 2 del **PIC 18F442 (IC2)**.

La función del micro es vital: **Controla** los valores de la **celda** y, después de realizar sofisticados **cálculos matemáticos**, **visualiza** en un **display** el valor de la **conductividad del agua** expresada en **microsiemens** o en **milisiemens** (en función de la escala seleccionada).

El transistor **TR1**, conectado al terminal 9 del **micro**, controla la **retroiluminación** del **display**. Puesto que el instrumento funciona

con **pilas** pasados **20 segundos** sin haber accionado **ninguna tecla** el **display se apaga** para consumir menos corriente.

No obstante recordamos que el **consumo** de este **display** es realmente **bajo**, en torno a **20 mA**.

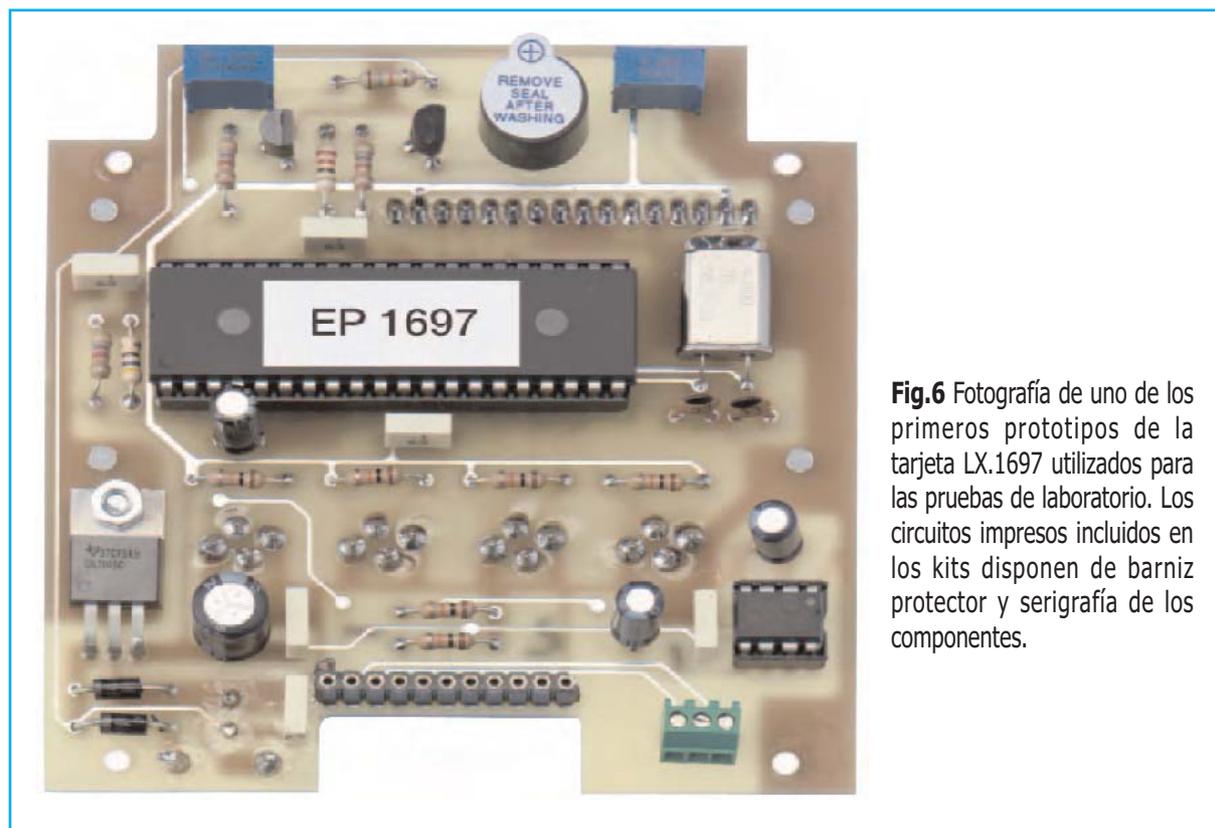
Como expondremos posteriormente utilizando únicamente **cuatro teclas** se puede **probar**, **calibrar** y programar el **fondo de escala** y los **modos operativos** del conductivímetro.

Hemos desarrollado **dos celdas** para el instrumento. Una, la **K5**, debe utilizarse para **aguas poco saladas**, mientras que la otra, la **K1**, se utiliza para **aguas saladas** (por encima de **1.000 microsiemens**).

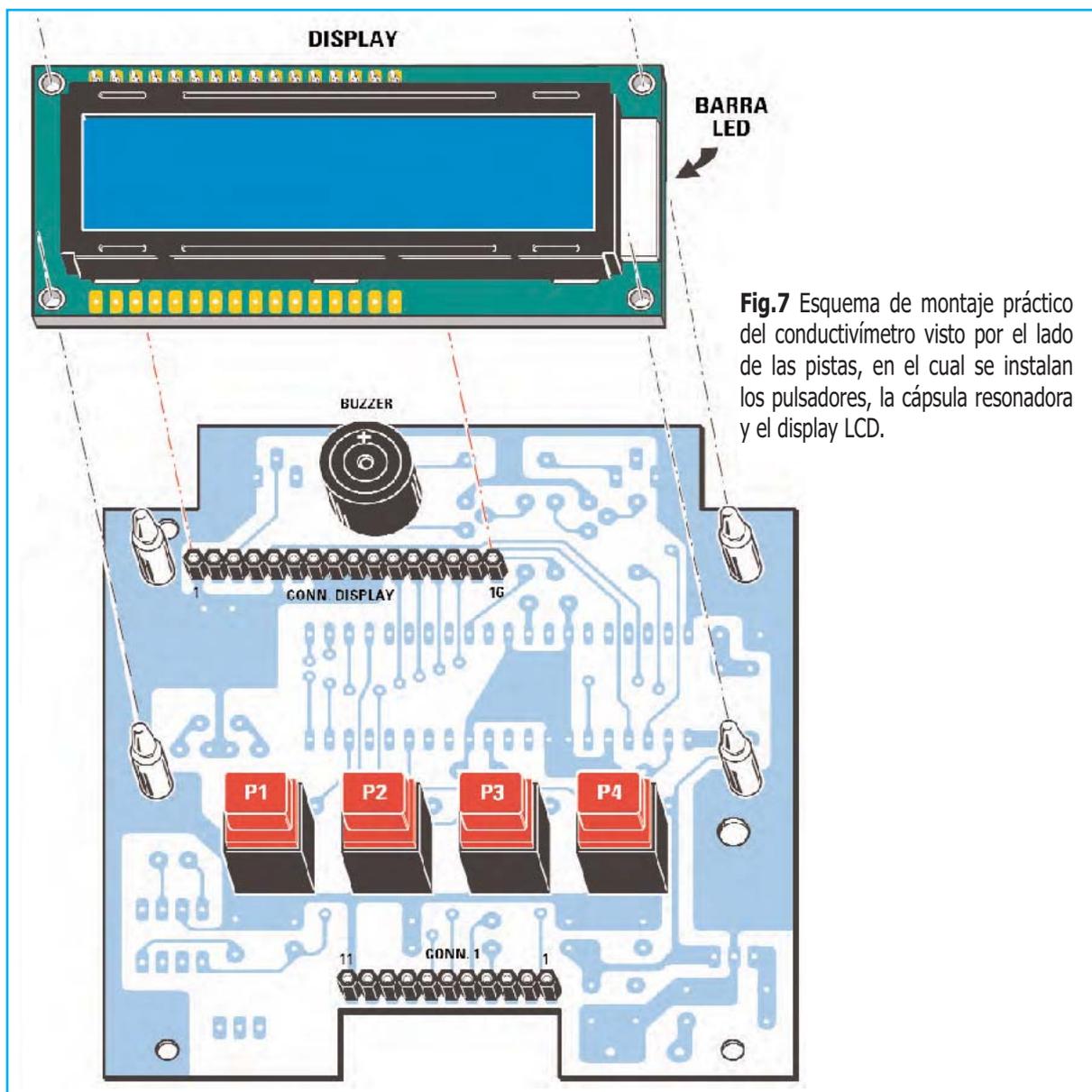
## REALIZACIÓN PRÁCTICA

La realización práctica del **conductivímetro** es bastante sencilla ya que, a excepción del interruptor de encendido, los componentes se instalan directamente en un circuito impreso de doble cara (ver Figs.7-8).

Como de costumbre aconsejamos iniciar el montaje con la instalación de los **zócalos** de los **integrados**, en este caso **IC2** e **IC3**.



**Fig.6** Fotografía de uno de los primeros prototipos de la tarjeta LX.1697 utilizados para las pruebas de laboratorio. Los circuitos impresos incluidos en los kits disponen de barniz protector y serigrafía de los componentes.



**Fig.7** Esquema de montaje práctico del conductímetro visto por el lado de las pistas, en el cual se instalan los pulsadores, la cápsula resonadora y el display LCD.

Acto seguido hay que dar la vuelta al impreso e instalar **dos conectores hembra de tira** (uno de **11** terminales y otro de **16**) utilizados para sustentar el **módulo de conductividad** y el **display LCD** (ver Figs.7-8).

Nuevamente en la cara de los componentes hay que montar las **resistencias**, incluyendo el **trimmer R9** (utilizado para calibrar el valor de la tensión de alimentación) y el **trimmer R11** (utilizado para regular la luminosidad del display).

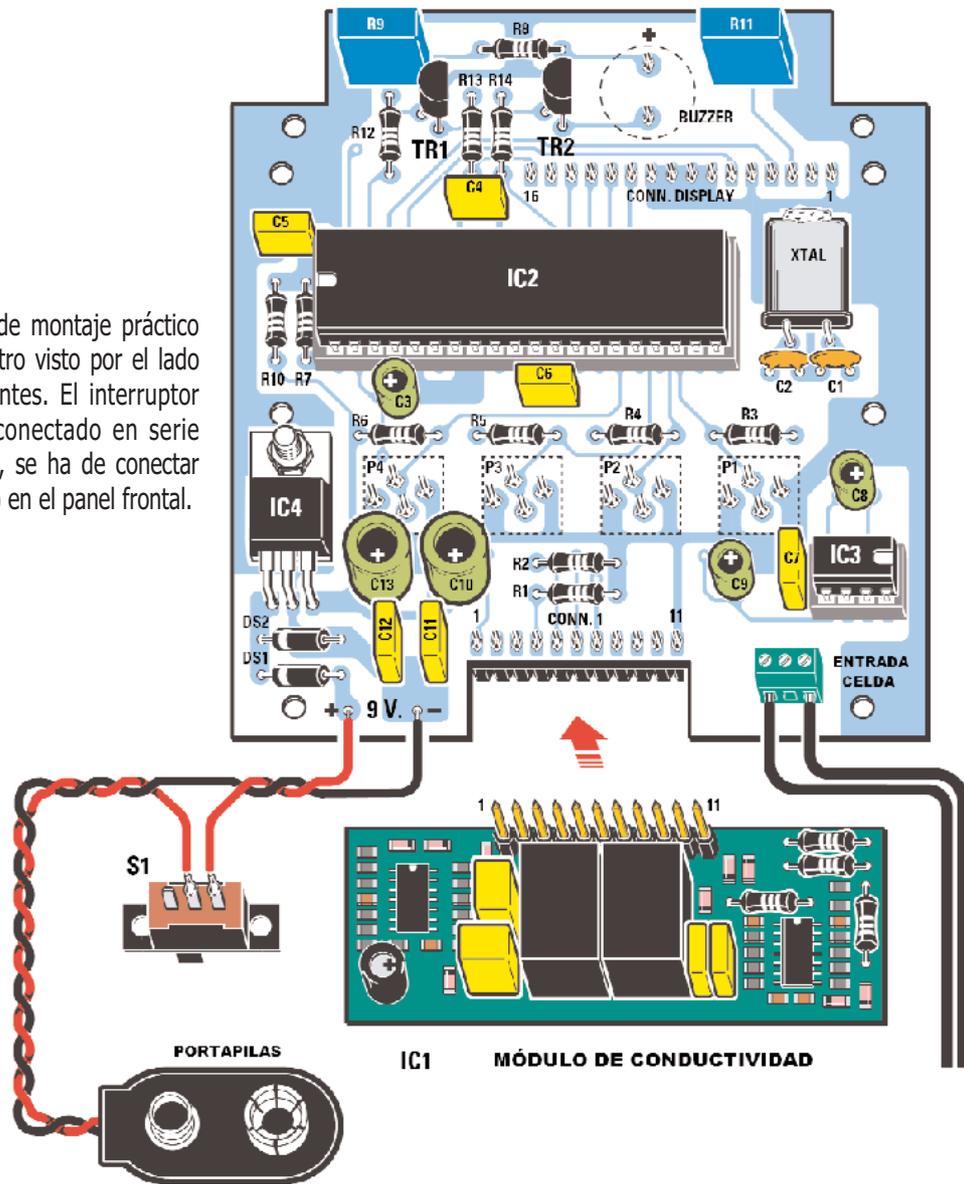
Ha llegado el momento de instalar los **condensadores**, comenzado por los de **poliéster** (todos de **100.000 pF**), continuando con los **cerámicos (C1-C2)** y finalizando con los **electrolíticos**, teniendo en este caso la

precaución de respetar la **polaridad** de sus terminales (el terminal **negativo** está marcado con un signo -).

El montaje puede continuar con la instalación de los **diodos DS1-DS2**, orientando sus **franjas blancas** de referencia hacia la **izquierda**, y de los **transistores TR1-TR2**, orientando las partes **planas** de sus cuerpos hacia la **derecha**.

Ahora hay que proceder a **doblar** en forma de **L** los terminales del **cuarzo**, teniendo bastante cuidado al realizar esta operación, e instalarlo en el circuito impreso. Después hay que fijar su **cuerpo metálico** al **impreso** con una pequeña gota de estaño.

**Fig.8** Esquema de montaje práctico del conductímetro visto por el lado de los componentes. El interruptor de encendido, conectado en serie con el portapilas, se ha de conectar una vez instalado en el panel frontal.



También el integrado **L.7805 (IC4)** se monta en posición **horizontal** doblando en **L** sus terminales. Una vez soldados se fija el integrado al impreso mediante un **tornillo** y su correspondiente **tuerca**.

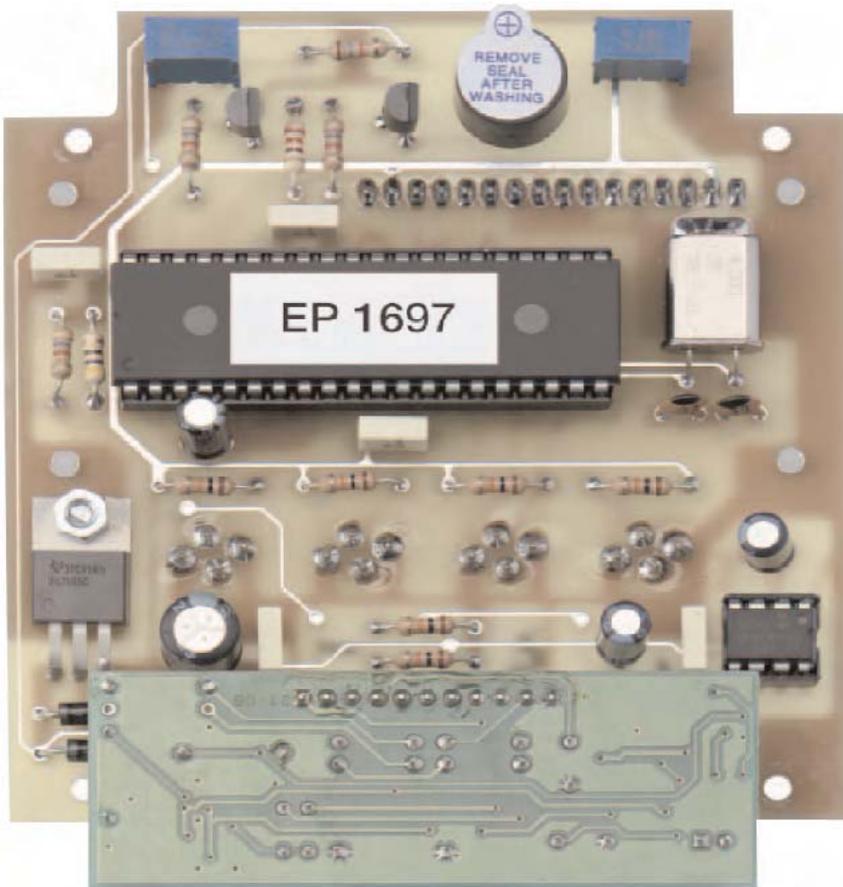
La pequeña **clema de tres polos** utilizada para la conexión de la celda se monta en la parte inferior-derecha del circuito impreso. Después de montar este componente hay que instalar el **portapilas**, conectando en serie el **interruptor deslizante de encendido** como se puede ver en detalle en el esquema de montaje práctico (Fig.8).

Ahora, por el lado de las pistas del impreso, hay que instalar los **4 pulsadores rojos**, soldando sus terminales en la cara de los

componentes. La **cápsula resonadora (buzzer)** también se instala con el mismo procedimiento, orientando su terminal **+** hacia la **parte superior**.

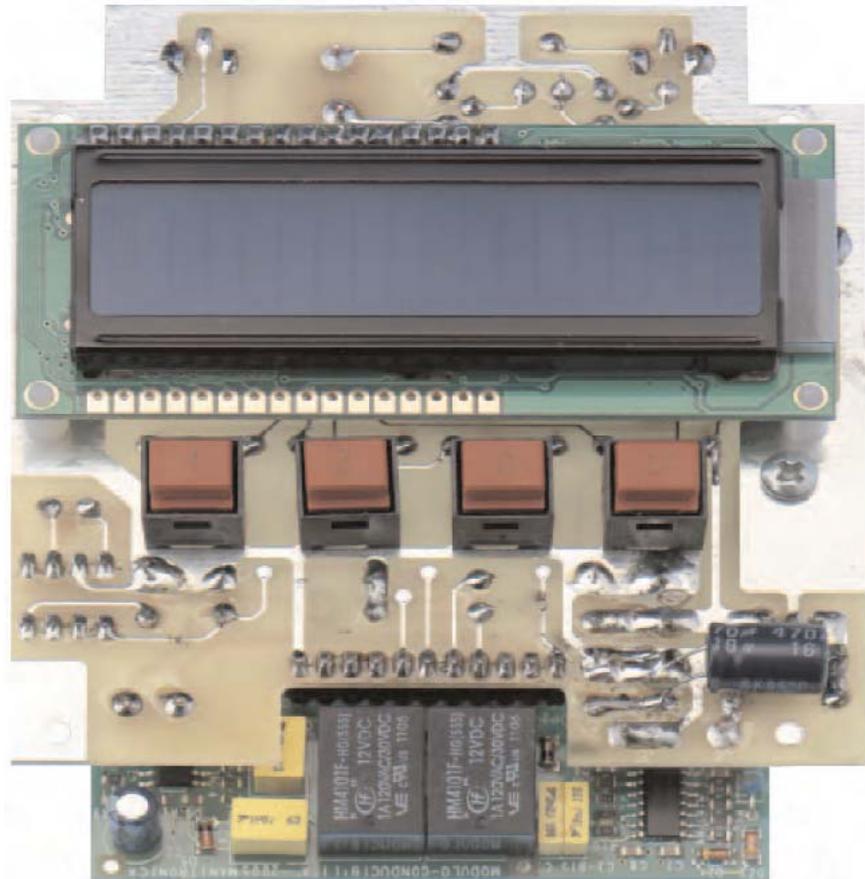
Una vez soldados todos los componentes ya solo queda instalar los **integrados IC2 e IC3** en sus zócalos, respetando la orientación de las muescas de referencia, y el **display LCD**.

El display se proporciona montado en una tarjeta de soporte. Antes de conectarlo al impreso **LX.1697** hay que soldar un **conector macho de tira de 16 terminales**. También hay que realizar un pequeño **punteo**, utilizando una pequeña **gota de estaño**, entre los terminales **J2** (ver Fig.12).



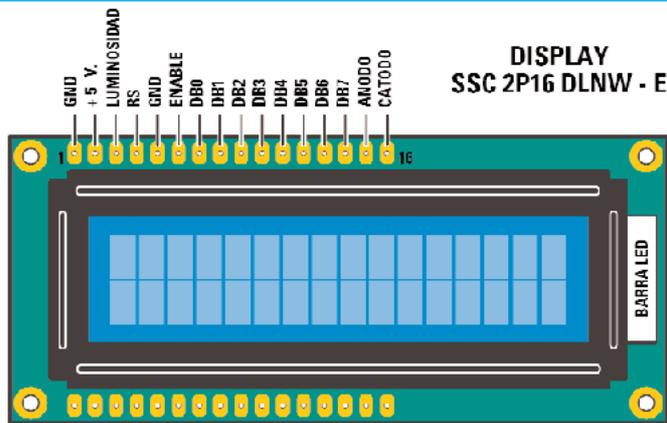
**Fig.9** Fotografía del prototipo con todos los componentes montados. En la parte inferior se puede apreciar el módulo de conductividad alojado en su conector.

Es aconsejable montar el módulo después de haber instalado el impreso LX.1697 en el mueble.



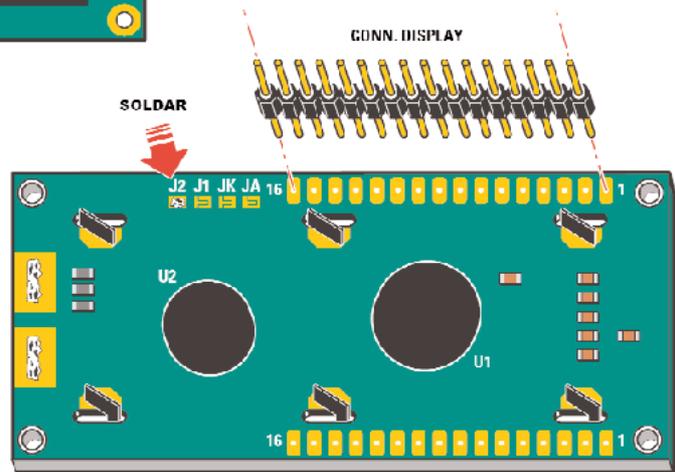
**Fig.10** Fotografía del prototipo vista por el lado de las pistas.

Antes de montar el display en el impreso hay que puentear, con un poco de estaño, los terminales correspondientes a J2, como se muestra claramente en la Fig.12.



**Fig.11** Conexiones, vistas desde arriba, del display LCD utilizado para visualizar las mediciones del conductímetro.

**Fig.12** En el circuito impreso del display hay que soldar un conector tira macho-macho de 16 terminales y realizar un puente sobre los terminales J2.



Para sustentarlo adecuadamente hay que instalar previamente **cuatro separadores de plástico** en el impreso base **LX.1697**. Una vez realizadas estas operaciones ya se puede instalar en el impreso tal como se muestra en la Fig.7.

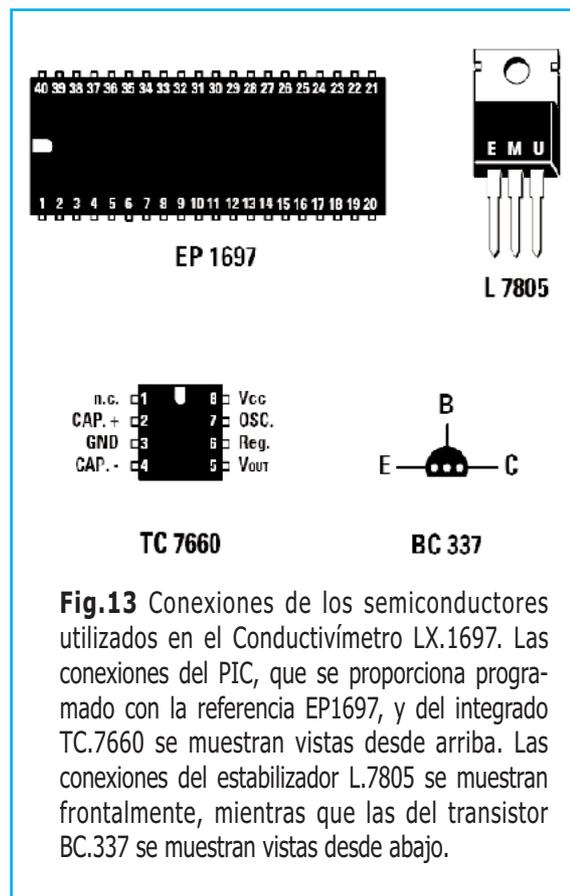
### MONTAJE en el MUEBLE

En la **Fig.14** se muestran esquemáticamente los procedimientos necesarios para la instalación de los elementos en el mueble contenedor.

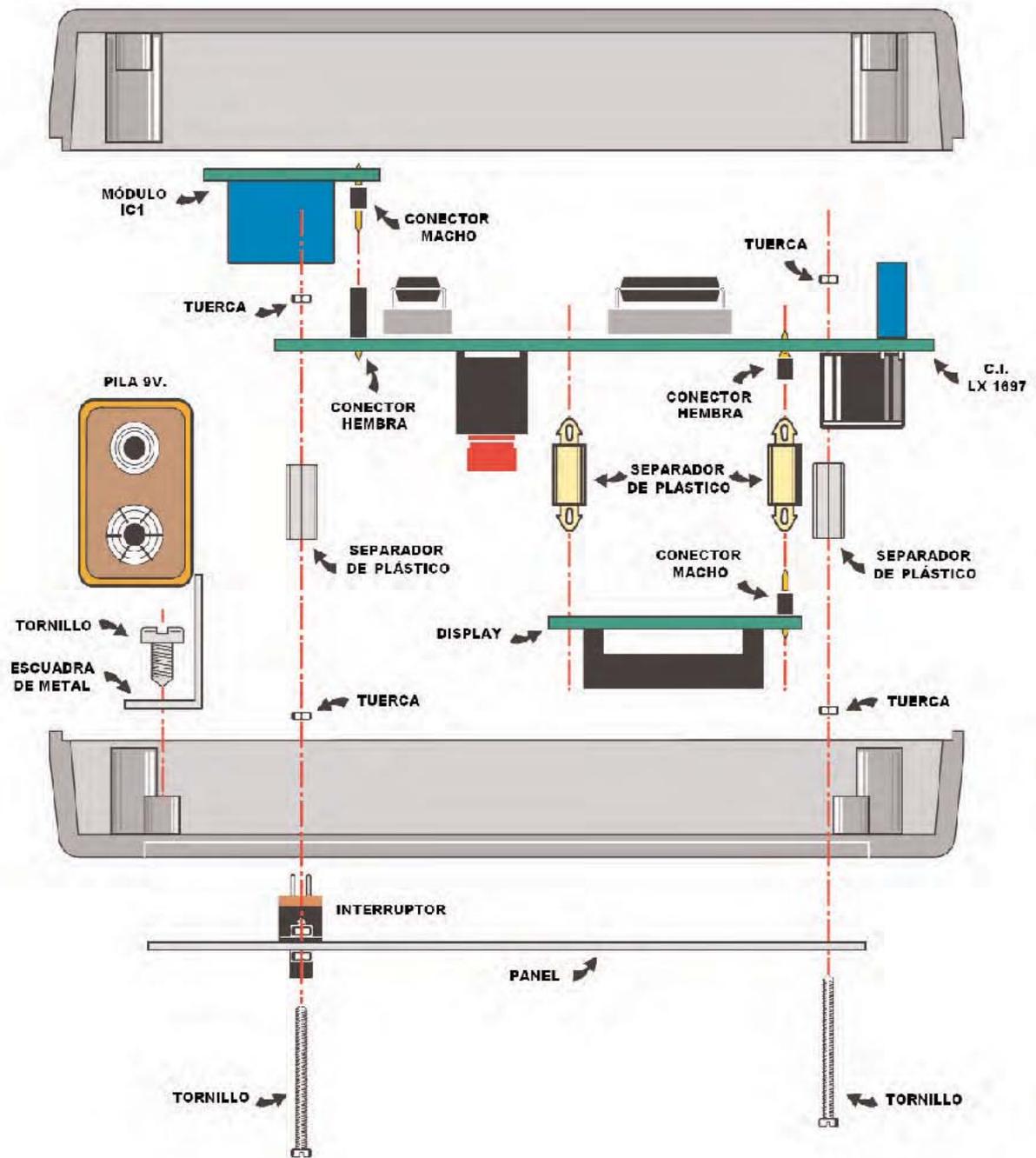
En la parte inferior del mueble hay que fijar mediante un tornillo la **escuadra metálica** que sirve de sujeción a la **pila**.

Si no se ha realizado todavía hay que **conectar** el **interruptor** y el **portapilas** al impreso ya que posteriormente no se podrá hacer.

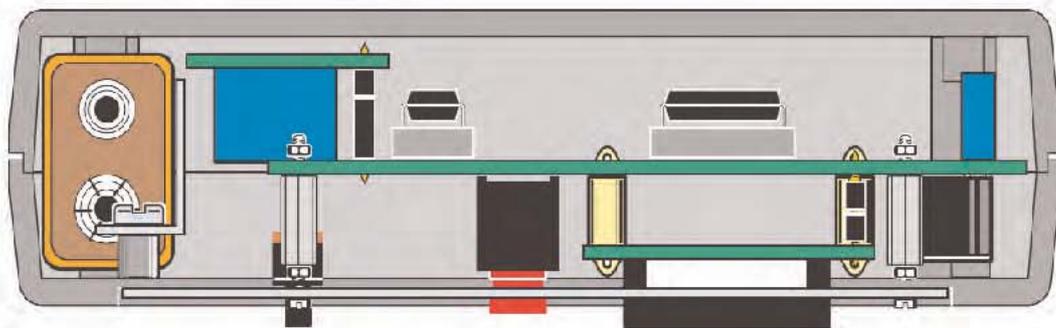
El **interruptor** ha de fijarse en el **panel frontal**, después de lo cual hay que fijar el panel en la **tapa** del mueble utilizando los **4 largos tornillos metálicos**.



**Fig.13** Conexiones de los semiconductores utilizados en el Conductímetro LX.1697. Las conexiones del PIC, que se proporciona programado con la referencia EP1697, y del integrado TC.7660 se muestran vistas desde arriba. Las conexiones del estabilizador L.7805 se muestran frontalmente, mientras que las del transistor BC.337 se muestran vistas desde abajo.



**Fig.14** Esquema detallado con el montaje del conductímetro en su mueble. Una vez ensamblado se convierte en un instrumento compacto y transportable.

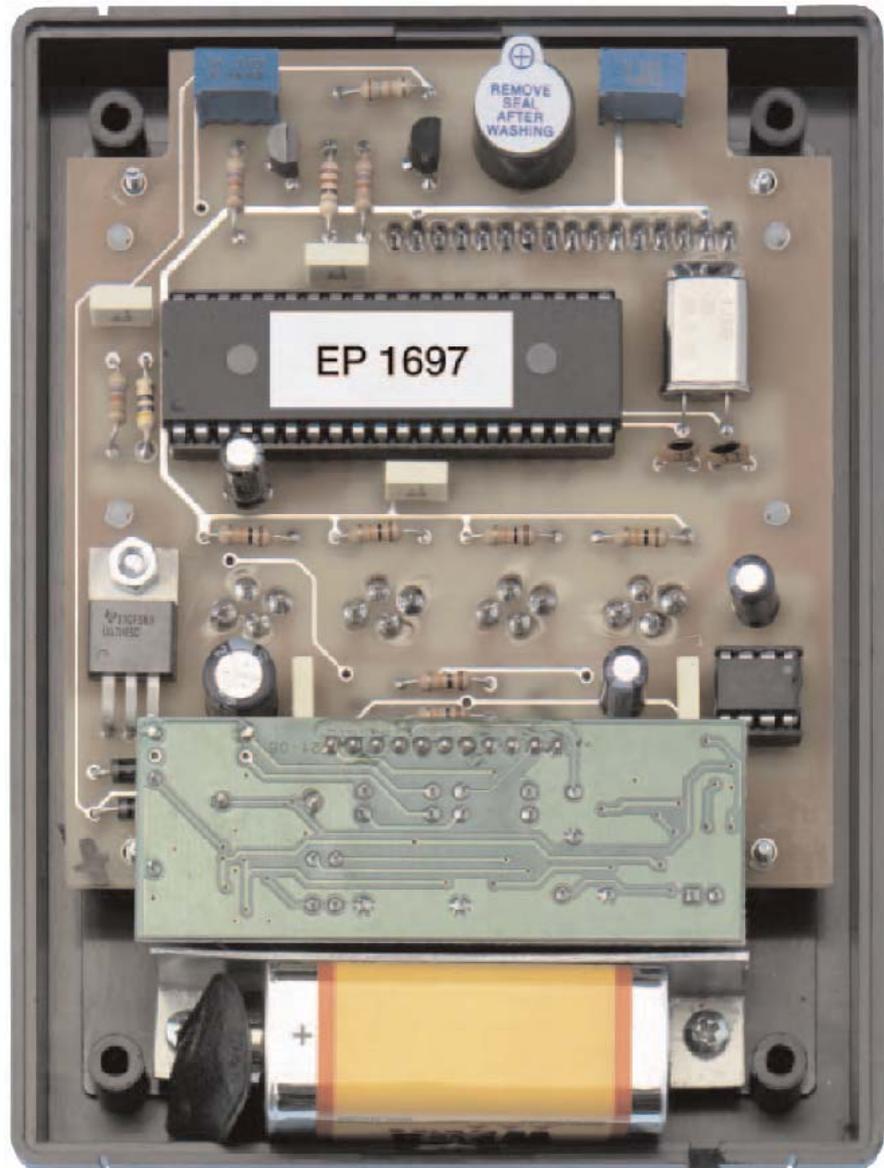




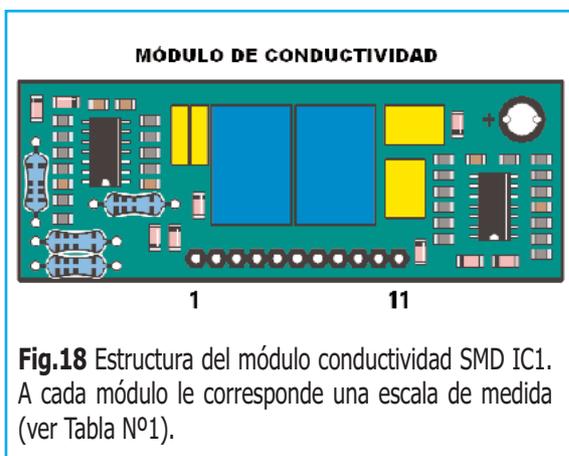
**Fig.15** Detalle del montaje del separador de plástico en el tornillo.



**Fig.16** Hay que posicionar el circuito sobre el separador y fijarlo mediante una tuerca.



**Fig.17** Aspecto del circuito LX.1697 instalado en el mueble contenedor con un módulo de conductividad ensamblado.



Una vez atornillados e instalados los **separadores de plástico** ya se puede instalar el impreso **LX.1697**, display incluido, de forma que los **pulsadores** y el **display** sobresalgan por los agujeros correspondientes. Después el conjunto se fija con una **tuerca**.

Ya solo queda montar el **módulo de conductividad** correspondiente a la escala de medida que se quiera utilizar. Como ya hemos explicado el instrumento puede efectuar medidas en **diversas escalas** utilizando el **módulo** correspondiente a la elegida.

Los **módulos de conductividad** se proporcionan completamente **montados**. Por lo tanto simplemente hay que instalar el elegido en el **conector** de tira de **11 terminales** del impreso **LX.1697** (ver Fig.8).

Antes de cerrar el mueble hay que **calibrar la pila** y **ajustar la luminosidad del display** con los procedimientos que indicamos en los siguientes apartados.

### CALIBRACIÓN de la PILA

Antes de cerrar el mueble hay que **calibrar** el valor de la **tensión de alimentación**, para lo cual hay que utilizar una **pila de 9 voltios nueva**.

Una vez conectada la pila hay que **encender** el instrumento. Después de oír la primera **señal acústica** hay que **presionar** el pulsador **SET2**, automáticamente en el **display** aparece un valor de **tensión**.

Utilizando un pequeño destornillador hay que ajustar el **trimmer R9** hasta leer en el display un valor de **9 voltios**.

En cualquier momento se puede **visualizar** el valor de la tensión de la pila accionando el pulsador **SET2**.

En todo caso cuando la tensión cae por debajo de **6 voltios** en el **display** se visualiza la indicación **LOW**, momento en el cual es aconsejable **cambiar** la pila.

### NOTAS sobre el DISPLAY

Para **ajustar** la **luminosidad del display** al nivel deseado hay que regular el **trimmer R11** con un pequeño destornillador.

Para **evitar derroches** de corriente si se deja **inactivo** el instrumento durante **20 segundos** el **display** se **apaga**. Para que se **ilumine de nuevo** basta con accionar una de las siguientes teclas: **SET1**, **UP** o **DOWN**.

Al **encender** el instrumento en el display siempre aparece:



Después se emite una **señal acústica**.

Llegado este punto, puesto que el instrumento está calibrado, aparecerá la **última escala seleccionada**, por ejemplo:



Y, a continuación, los **valores de temperatura** y **conductividad**:



## PRUEBA del CONVERSION A/D

Para **verificar** que el circuito funciona hay que **accionar simultáneamente**, con el **instrumento apagado**, las teclas **SET1** y **UP**. Mientras se mantienen pulsadas hay que **encender** el medidor mediante el **interruptor**.

**Sin liberar** las **teclas** hay que esperar a oír **dos señales acústicas**, una más **larga** y otra más **corta**, **después** ya se pueden **soltar**.

En el display aparece el **fondo de escala estándar** y la siguiente información:



Ahora se puede **verificar** el funcionamiento de los **pulsadores**. Cada vez que se **presione uno** se emitirá una **señal acústica** de confirmación.

Acto seguido hay que **accionar simultáneamente** las teclas **UP** y **DOWN**. Si **no** está **conectado correctamente** el **cable** aparecerá en el display la indicación:



Si el cable **está conectado** aparece un **valor** incluido entre **0002** y **0005**.

## CAMBIAR el FONDO DE ESCALA

El instrumento puede efectuar medidas con **muchas escalas**, siempre y cuando tenga instalado el **módulo correspondiente**.

Una vez elegido e instalado el módulo para **cambiar** el **fondo de escala** hay que **apagar** el instrumento. A continuación, **manteniendo pulsada** la tecla **SET2**, hay que **encender** el instrumento hasta oír **dos señales acústicas**. A partir de este momento con las teclas **UP** y **DOWN** se puede **seleccionar** la **escala de medida**.

Para **guardar** la **escala seleccionada** hay que pulsar **SET2**. Presionando **SET1** se **sale** de esta función **sin salvar**.

TABLA Nº1		ESCALAS
MÓDULO	ESCALA Y CELDA	
KM1697/1	0-500 $\mu$ S/cm con K5	
KM1697/2	0-50,0 $\mu$ S/cm con K5	
KM1697/3	0-5,00 $\mu$ S/cm con K5	
KM1697/4	0-5,00 mS/cm con K1	
KM1697/5	0-10,0 $\mu$ S/cm con K5	
KM1697/6	0-1,00 mS/cm con K1	
KM1697/7	0-10,0 mS/cm con K1	
KM1697/8	0-2,00 mS/cm con K1	

## CALIBRACIÓN de COMPENSACIÓN

Esta operación debe ser realizada, sobre todo si se utiliza un **cable** con una **longitud diferente** a la que nosotros **proporcionamos**.

Las **aguas** con **baja salinidad** tienen resistividades de **Megaohmios**. En estas condiciones la **impedancia** del **cable** puede **distorsionar la medida**. Para **remediar** este inconveniente hemos introducido la **calibración de compensación** y así tener en cuenta el **cable eléctrico** que une la celda al dispositivo.

En primer lugar hay que **desconectar** la **celda del cable** para que este quede libre.

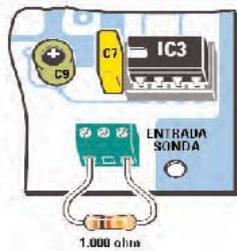
Con el dispositivo **apagado** y **manteniendo pulsada** la tecla **DOWN** hay que **encender** el instrumento hasta oír **dos señales acústicas**. Ya se puede liberar la tecla **DOWN**.

Si el cable es el estándar el valor oscilará entre **0002** y **0020**. Para **guardar** el **dato** hay que pulsar **SET2**. Presionando **SET1** se **sale** de esta función **sin salvar**.

## CALIBRACIÓN del INSTRUMENTO

Ha llegado el momento de **calibrar el instrumento**. El valor de calibración debería realizarse con **agua completamente pura (H<sub>2</sub>O)**, lo que haría el procedimiento **muy caro**. Para remediar este problema hemos pensado en un sistema de ajuste **empírico** y **económico**.

En la práctica vamos **construir** el valor equivalente a la **mitad** del **fondo de la escala** utilizada, o algo **menor**. Para esto es necesario **calcular** una **resistencia de calibración** a utilizar en lugar de la **celda**, tal como indicamos seguidamente.



**Fig.19** Para calibrar el instrumento hay que quitar temporalmente el módulo IC1 de su conector y desconectar el cable que une la celda a la clema. En lugar del cable hay que conectar la resistencia de calibración y luego volver a montar el módulo IC1.

Supongamos que se ha elegido la escala de **0 a 500  $\mu\text{S/cm}$** , por lo que habría que utilizar el módulo **KM1697/1** con la **celda K5**.

Para efectuar la **calibración a 200  $\mu\text{S/cm}$**  hay que calcular el valor de la **resistencia** utilizando la fórmula:

$$R \text{ en ohmios} = 10^6 : (K \times C)$$

La letra **K** ha de reemplazarse por el valor **5** y la conductividad (**C**) por **200**. La **resistencia** a conectar en lugar de la celda tiene que tener, en nuestro caso, un valor de:

$$10^6 : (5 \times 200) = 1.000 \text{ ohmios}$$

Para tener mayor precisión conviene **conectar directamente la resistencia a la clema**, con el **instrumento apagado** (ver Fig.19).

Con el dispositivo **apagado** y **manteniendo pulsada** la tecla **SET1** hay que **encender** el instrumento hasta oír **dos señales acústicas**. En el display aparecerá una imagen similar a:



Ahora hay que accionar las teclas **UP** o **DOWN** hasta visualizar el valor de **20 °C**, presionar **SET2** o **SET1**. A continuación aparecerá en el display:



Hay que accionar las teclas **UP** o **DOWN** hasta visualizar el valor de **200** y presionar **SET2**. El dispositivo **está calibrado**.

El procedimiento de la selección del fondo de escala para efectuar la **calibración** solo tiene que realizarse cuando se **cambie de módulo**, y por tanto de escala.

Si el **valor óhmico** de la resistencia de calibración **no es estándar** se puede utilizar la **fórmula inversa** para calcular el valor de **conductividad en  $\mu\text{S/cm}$**  sobre el cual se calibrará el instrumento.

Supongamos que se ha elegido el módulo **KM.1697/2** (escala de **0 a 50,0  $\mu\text{S/cm}$** ) con la **celda K5**. Para **calibrar** el instrumento a **25  $\mu\text{S/cm}$**  la **resistencia** equivalente tiene un valor óhmico de:

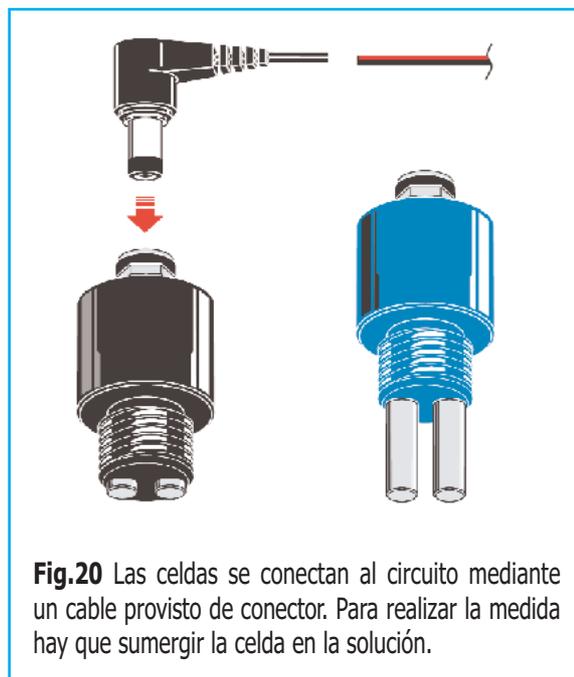
$$10^6 : (5 \times 25) = 8.000 \text{ ohmios}$$

Valor **no estándar**. Podemos utilizar el **valor estándar de 8.200 ohmios** realizando los cálculos con la **fórmula inversa** que determina el valor de conductividad sobre el que calibrar el conductímetro:

$$C = 10^6 : (K \times R)$$

Reemplazando por los valores conocidos:

$$C = 10^6 : (5 \times 8.200) = 24,39 \mu\text{S/cm}$$



**Fig.20** Las celdas se conectan al circuito mediante un cable provisto de conector. Para realizar la medida hay que sumergir la celda en la solución.

**Fig.21** Para realizar mediciones en aguas muy saladas se pueden diluir al 50% con agua destilada y multiplicar por 2 el valor obtenido en el instrumento.



Así, con una **resistencia** de **8.200 ohmios** hay que **calibrar** la conductividad a **24,4 µS/cm**.

### COMPENSACIÓN de TEMPERATURA

Puede que sea necesario **compensar** el valor de la **temperatura del agua**. El valor programado de forma **estándar** es de **20 °C**.

El instrumento **no mide** la temperatura del agua, aunque sí **dispone** de una **variable** para alojar su valor y tomarlo para **ajustar** de forma **precisa** el valor de conductividad medido.

Es muy importante realizar una **compensación** cuando la **temperatura** sea **diferente** a la establecida en el procedimiento de calibración, según la siguiente relación:

$$C = \frac{C_0 (2T + 100)}{100}$$

Donde **C<sub>0</sub>** es la **conductividad** a **0 °C** y **T** la **temperatura**. A cada **grado** de diferencia de **temperatura** corresponde una diferencia de un **2%** de **conductividad**.

Para **cambiar manualmente** el valor de la **temperatura** cuando el display muestra los valores de temperatura y conductividad:



Simplemente hay que utilizar las **teclas UP** o **DOWN** hasta visualizar el nuevo valor de temperatura. El valor permanecer en **memoria** mientras el instrumento **esté encendido**.

Si se desea que el **nuevo valor** de temperatura se convierta en el **valor estándar** del instrumento hay que **repetir** la **calibración**.

### MEDIDAS para AGUAS MUY SALADAS

Para medir **aguas muy saladas** se puede utilizar un **procedimiento empírico**, pero **muy eficaz**, consistente en **diluir al 50%** el líquido a medir con **agua destilada**.

Por ejemplo, verter en un recipiente medio litro de agua destilada y otro medio litro con el agua cuya conductividad se quiere medir (ver Fig.21). De esta forma una solución de **500 µS/cm** se **convertiría** en **250 µS/cm**.

Por lo tanto simplemente hay que **multiplicar x 2** la **medida** realizada por el instrumento.

### PRECIOS de REALIZACIÓN

**LX.1697:** Precio de todos los componentes necesarios para realizar el **Conductivímetro profesional** (ver Figs.6-10), incluyendo **PIC programado, display LCD, circuito impreso** y el cable necesario para conectar la celda al circuito, **excluidos módulos de conductividad, celdas** y el mueble ..... **118,80 €**

**MO.1697:** Precio del **mueble de plástico** con panel frontal perforado y serigrafiado .. **35,40 €**

**LX.1697:** Circuito impreso ..... **11,40 €**

**KM.1697:** Precio de **un módulo conductividad KM1697** para una de las escalas de medida indicadas en la **Tabla N°1** .... **74,60 €**

**SE1.K5:** Precio de la **celda** apta para las escalas de medida de los módulos **KM1697/ 1-2-3-5** (ver Fig.1 celda de **color azul** con los electrodos más **largos**) ..... **44,80 €**

**SE1.K1:** Precio de la **celda** apta para las escalas de medida de los módulos **KM1697/ 4-6-7-8** (ver Fig.1 celda de **color negro** con los electrodos más **cortos**) ..... **44,80 €**